

Chapter 6

대역폭 활용: 다중화와 확장 (Bandwidth Utilization: Multiplexing and Spreading)

6 장 다중화(Multiplexing)

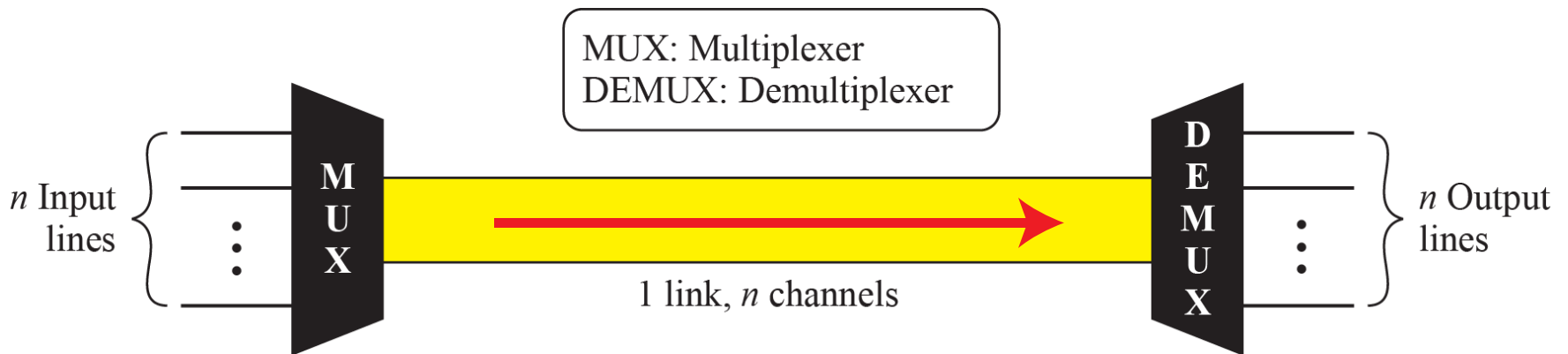
6.1 다중화

6.2 확산 대역 방식

6.1 다중화

■ 다중화 시스템 기본 형식

- ☞ 단일 데이터 링크를 통해 여러 개의 신호를 동시에 전송하기 위한 기술



6.1 다중화 (계속)

■ 다중화기(MUX, Multiplexer)

⇒ 전송 스트림을 단일 스트림으로 결합(many to one)

■ 역다중화기(DEMUX, Demultiplexer)

⇒ 스트림을 각각의 요소로 분리(one to many)

⇒ 전송 스트림을 해당 수신장치에 전달

■ 링크(Link)

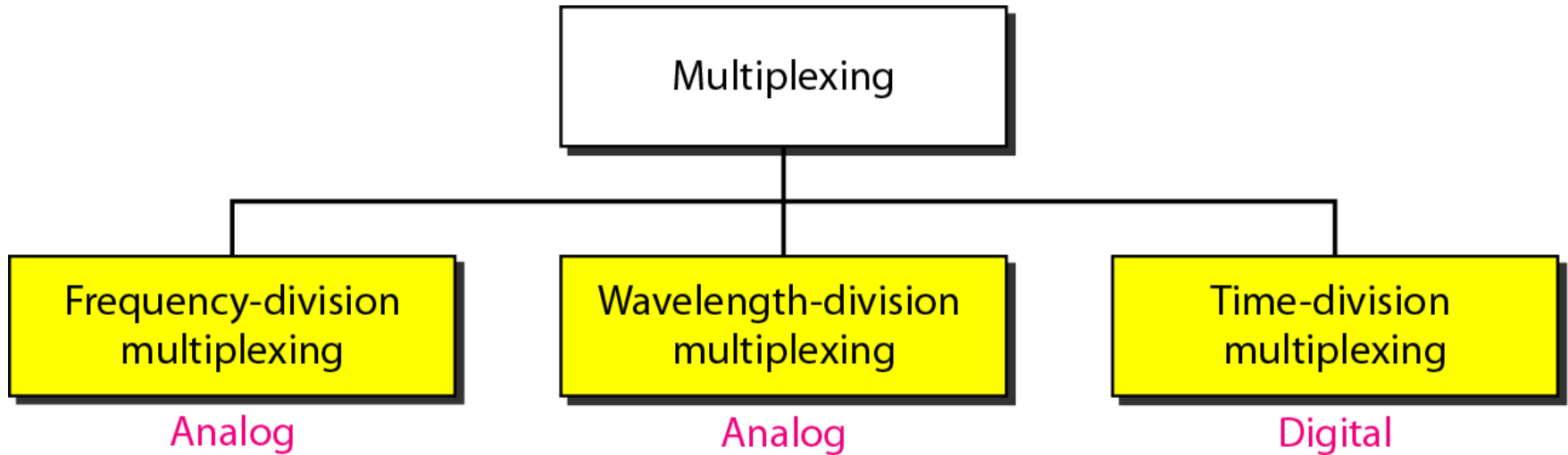
⇒ 물리적인 경로

■ 채널(Channel)

⇒ 한 쌍의 장치간에 전송을 위한 경로

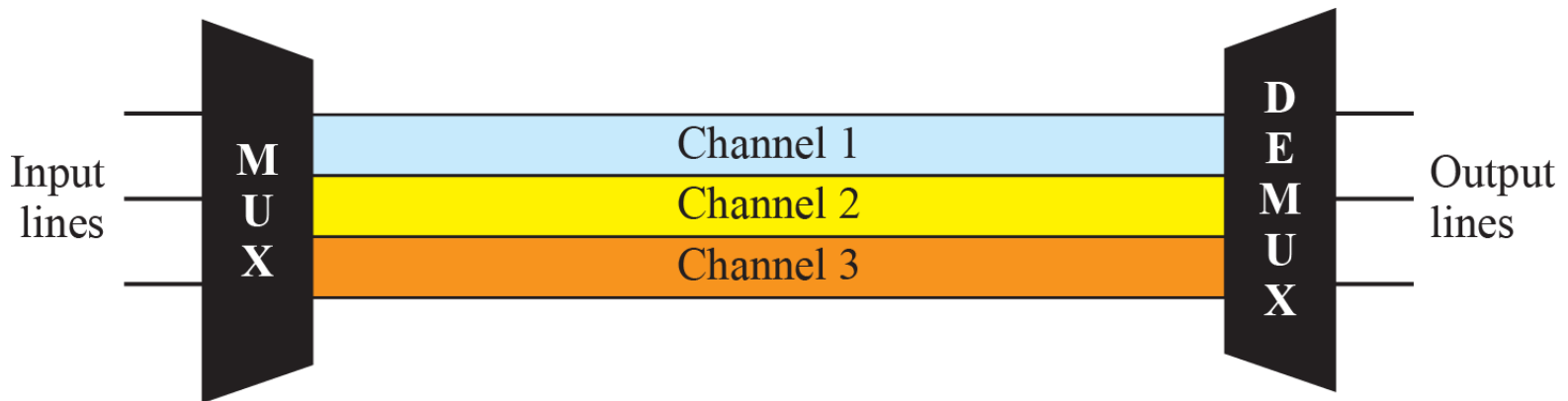
6.1 다중화 (계속)

■ 다중화의 범주



주파수 분할 다중화

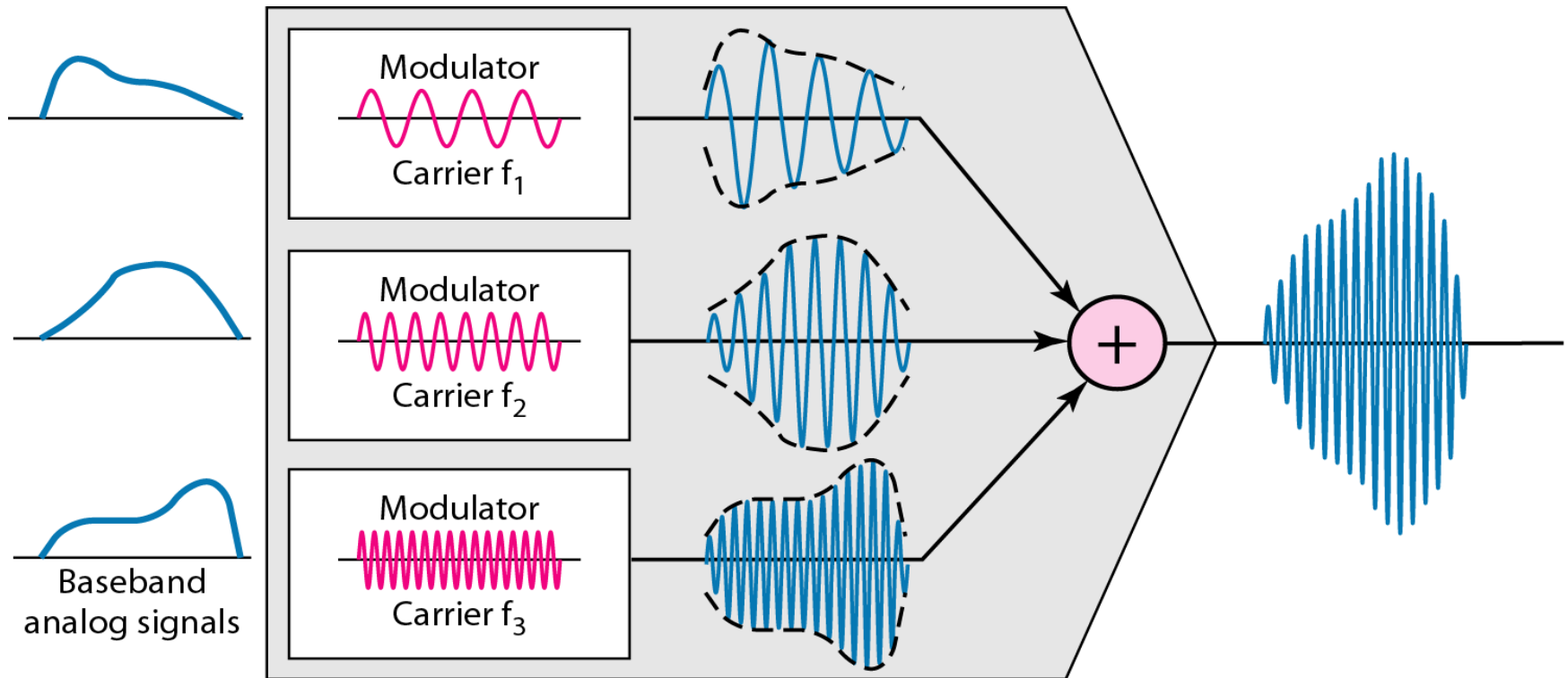
- FDM : Frequency-division Multiplexing
- 링크의 대역폭이 전송되는 조합 신호의 대역폭 보다 클 때 적용할 수 있는 아날로그 기술
- 신호가 겹치지 않도록 보호대역(guard band)만큼 떨어져 있어야 한다.



주파수 분할 다중화 (계속)

□ FDM 처리 과정

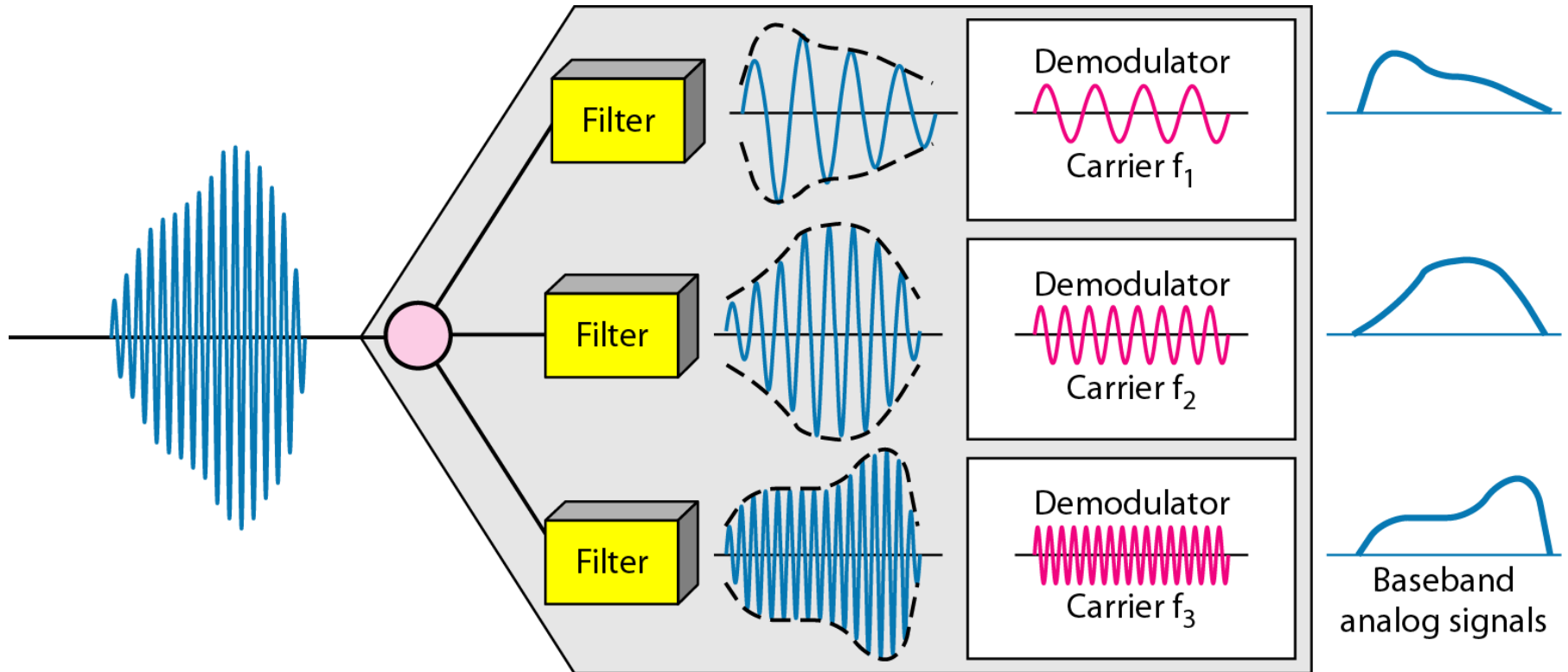
- ⇒ 각 전화기는 비슷한 범위의 주파수 대역의 신호 발생
- ⇒ 이 신호는 서로 다른 반송 주파수로 변조된다(f_1, f_2, f_3)



주파수 분할 다중화 (계속)

□ 다중화 풀기(Demultiplexing)

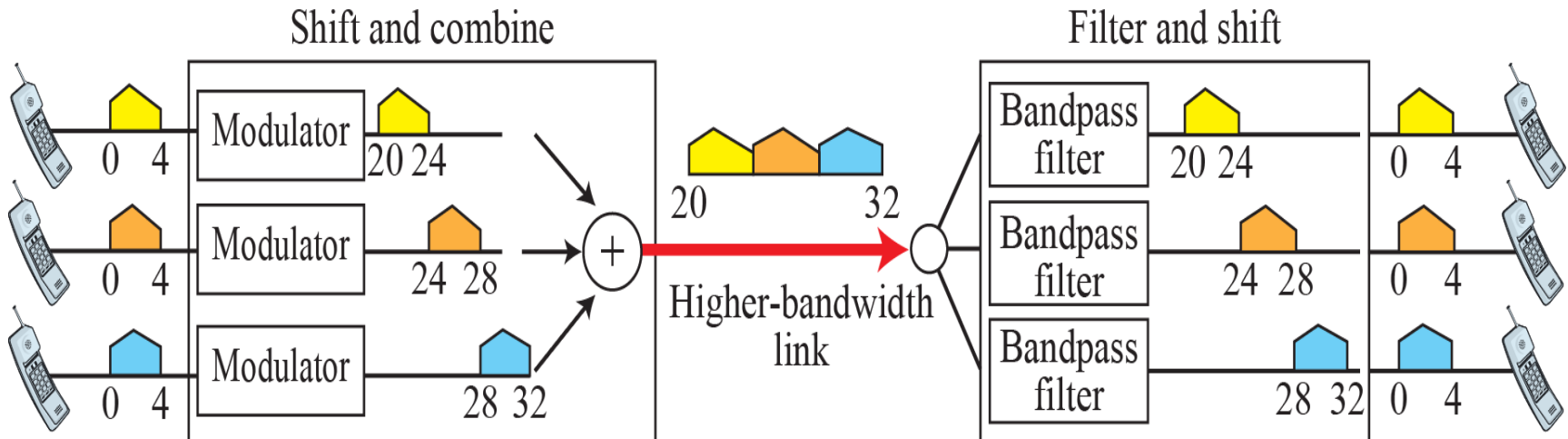
⇒ 개개의 신호를 분리하여 수신기에 전달



Example

음성 채널이 4 kHz의 대역폭을 차지한다고 가정하자. 주파수 20 kHz에서부터 32 kHz에 걸친 대역폭을 사용하는 링크를 통해서 개의 음성 채널을 합해서 보낸다고 하자. 주파수 영역을 이용하여 형상을 보여라. 보호 대역은 없는 것으로 간주한다.

Solution





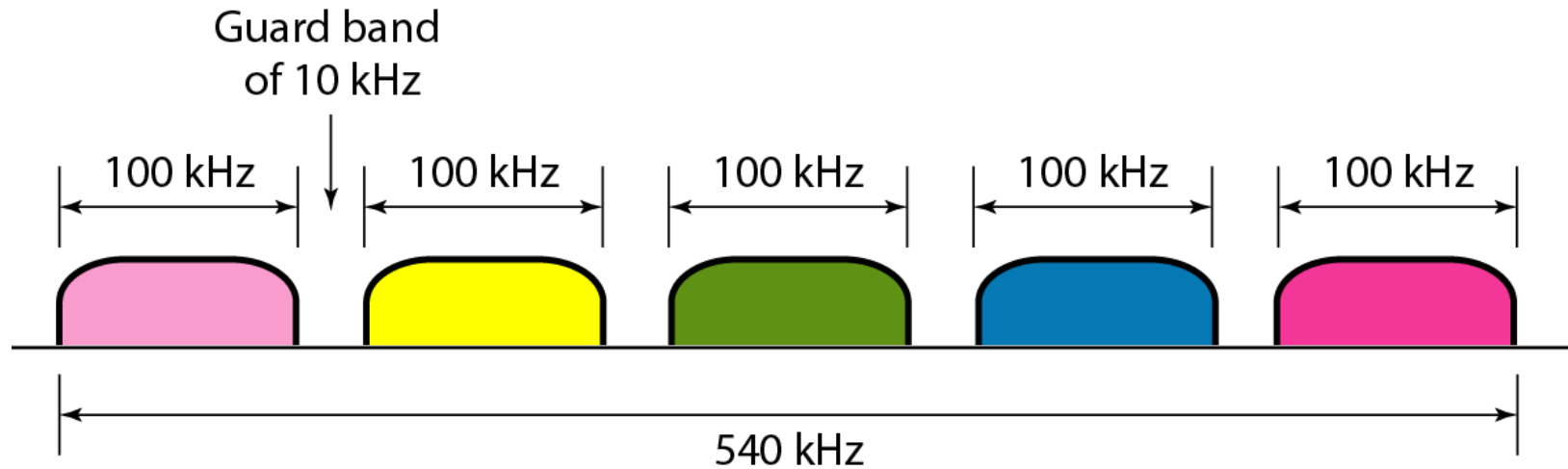
Example

각각 100 kHz의 대역폭을 갖는 다섯 개의 채널을 함께 다중화해서 보낸다. 만일 서로 간의 간섭을 피하기 위해 채널 사이에 10 kHz의 보호 대역이 필요하다면 최소 얼마만큼의 대역폭이 필요한가?

Solution

- 5개의 채널이 간섭을 피하기 위해 4개의 보호 대역이 필요
- 따라서 필요한 대역폭은 최소 $5 \times 100 + 4 \times 10 = 540 \text{ kHz}$

Example





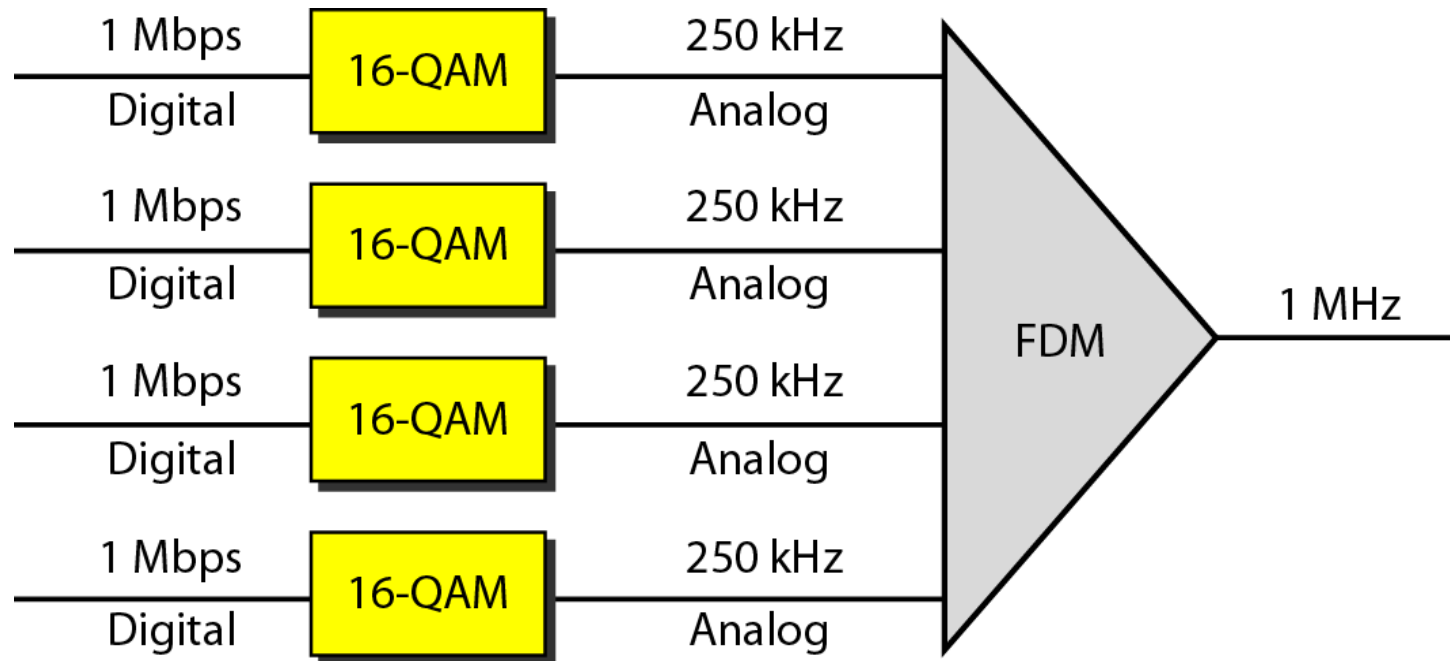
Example

4개의 디지털 채널이 1 MHz를 사용하는 위성 링크를 이용하여 각각 1 Mbps의 전송속도로 전송한다. FDM을 사용하여 적절한 구성을 설계하라.

Solution

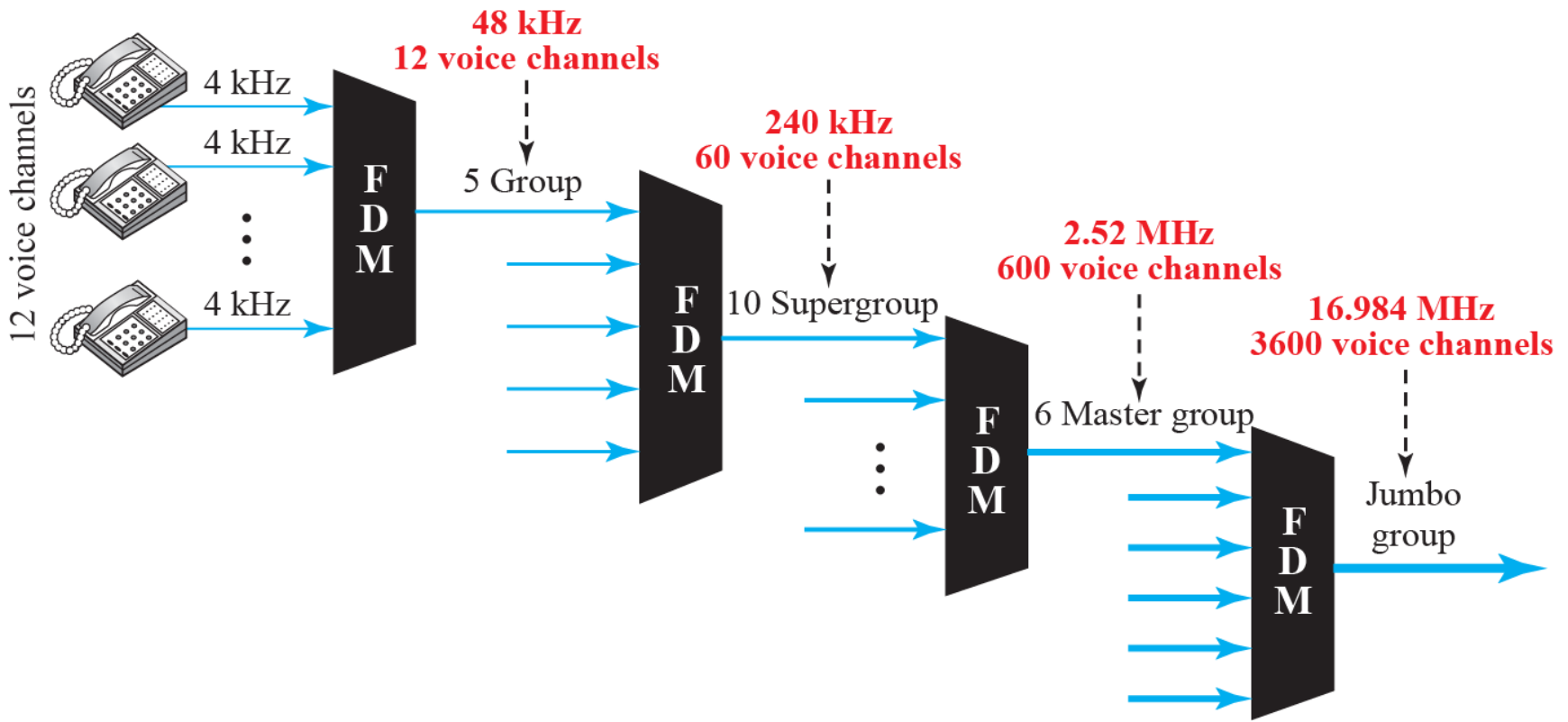
- 위성 링크의 전체 대역폭을 각각 250kHz 대역폭을 갖는 4개의 채널로 나눈다.
- 1 Mbps의 디지털 채널을 4비트가 1 Hz에 해당되도록 변조
- 16-QAM 변조가 한 가지 방법이다.

Example



주파수 분할 다중화 (계속)

□ 아날로그 계층구조



주파수 분할 다중화 (계속)

□ FDM의 다른 응용

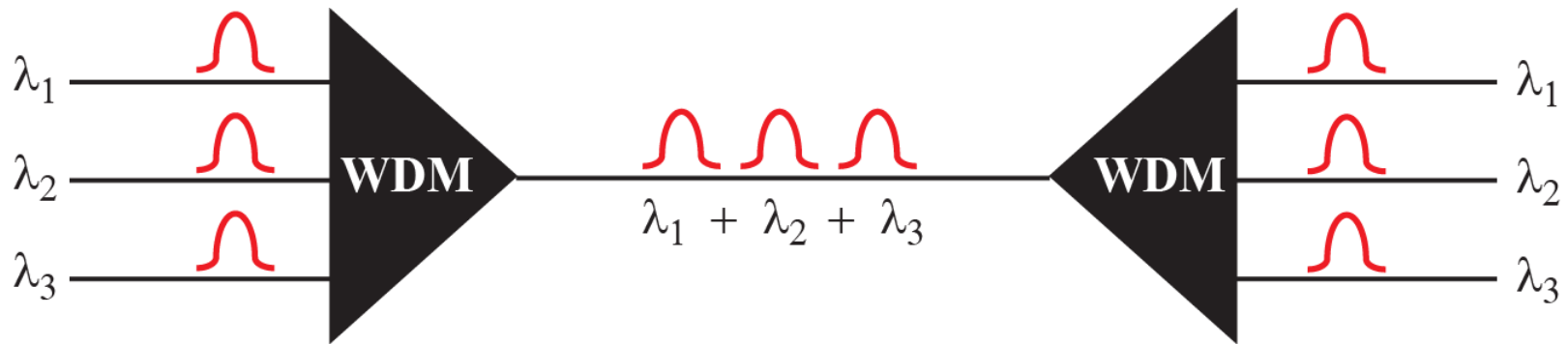
⇒ 라디오

- ◆ AM : 방송국당 10 kHz
- ◆ FM : 방송국당 200 kHz

⇒ TV : 채널당 6MHz

파장 분할 다중화

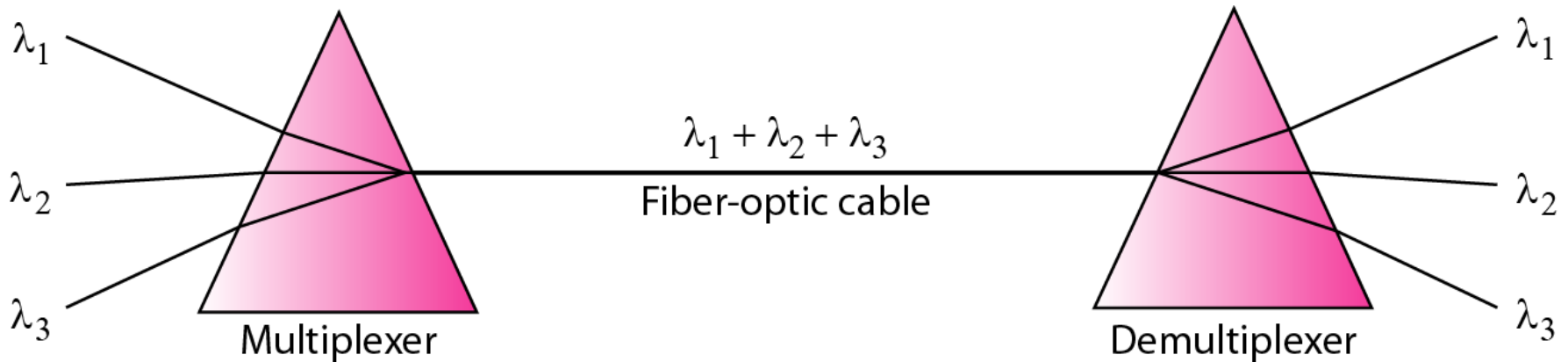
- WDM : Wavelength-division Multiplexing
- 기본 개념은 FDM과 같으며, 광섬유의 고속 전송률을 이용하기 위해 설계



파장 분할 다중화 (계속)

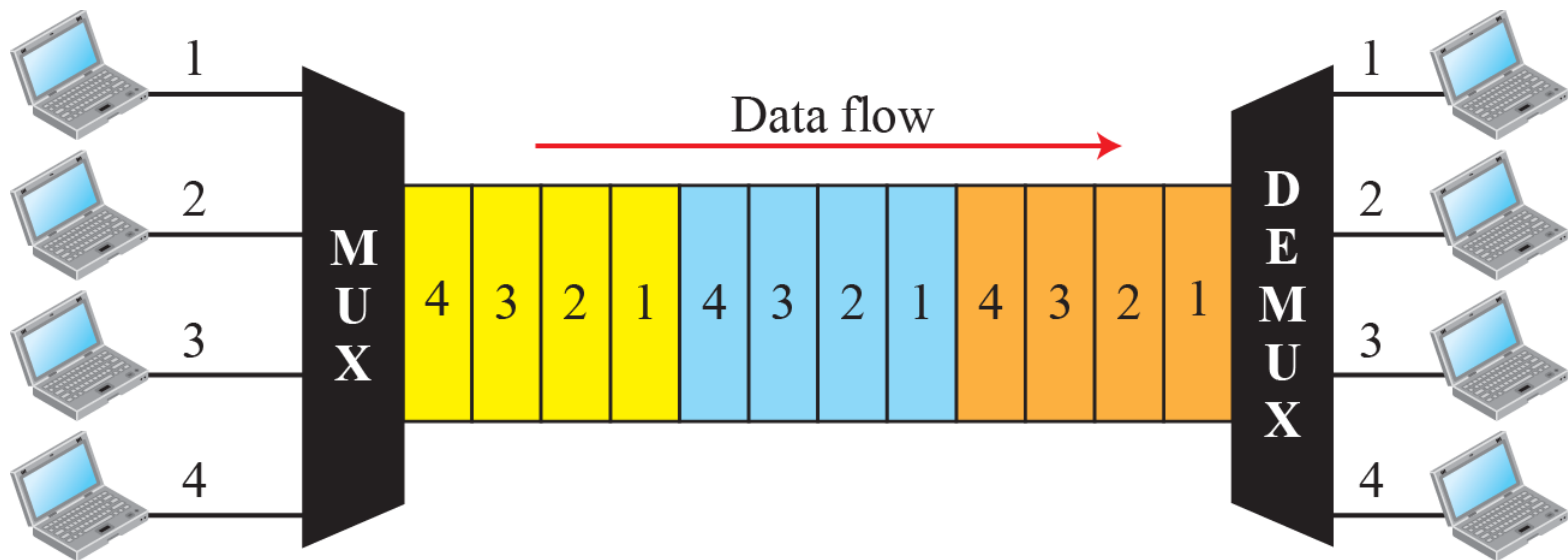
□ WDM

- ⇒ 다중 빛 소스를 단일 빛으로 결합
- ⇒ 단일 빛은 다중 빛 소스로 분리
- ⇒ 프리즘 이용 : 임계각과 주파수 기반



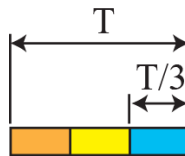
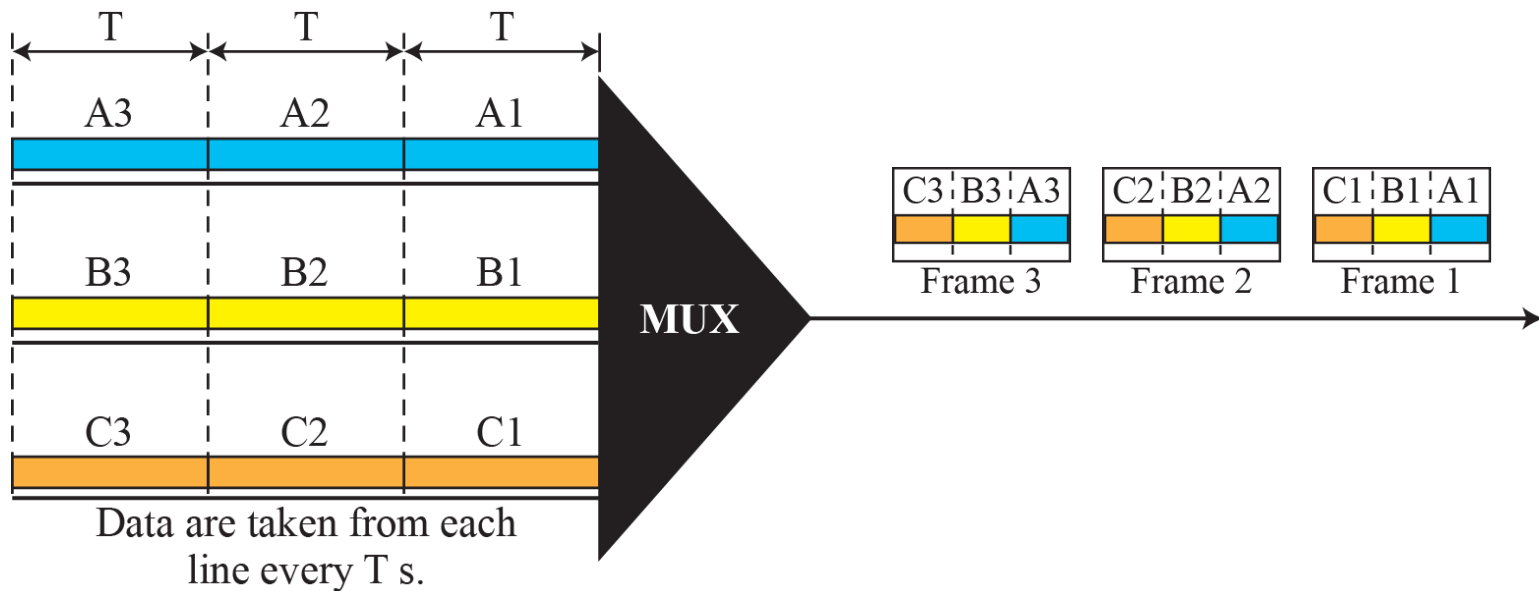
시분할 다중화

- 송신과 수신장치에 의해 요구되는 데이터 전송률 보다 전송 매체의 데이터 전송률이 클 때 적용되는 디지털 처리 기술



시분할 다중화 (계속)

□ 타임 슬롯(time-slot)와 프레임(frame)



Each frame is 3 time slots.
Each time slot duration is $T/3$ s.



Example

4 개의 1 kbps 연결이 다중화되고 있다. 각 단위는 1 비트이다.
(a) 다중화 전의 1 비트의 기간, (b) 링크의 전송 속도,
(c) 타임 슬롯의 기간, (d) 프레임의 기간을 구하라.

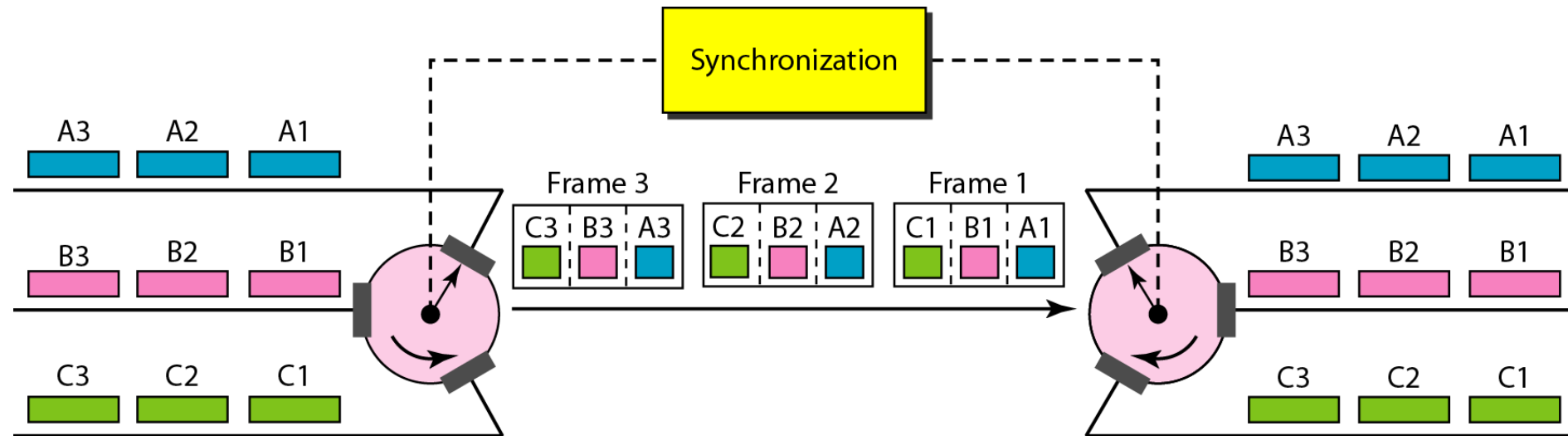
Solution

- 다중화 전의 1 비트의 기간 : $1 / 1 \text{ kbps}$ 이므로 0.001 s (1 ms).
- 링크의 전송속도 : 각 연결에서의 전송 속도의 4 배이므로 4kbps.
- 각 타임 슬롯의 기간 : 다중화 전의 각 비트 기간의 $\frac{1}{4}$ 이므로 $250 \mu\text{s}$
- 프레임의 기간 : 각 프레임은 네 개의 타임 슬롯을 가지고 있으므로 $250 \mu\text{s}$ 의 4배인 1 ms.

시분할 다중화 (계속)

□ 끼워넣기(interleaving)

⇒ 스위치가 장치들을 일정한 비율로 정해진 순서대로 이동한다.





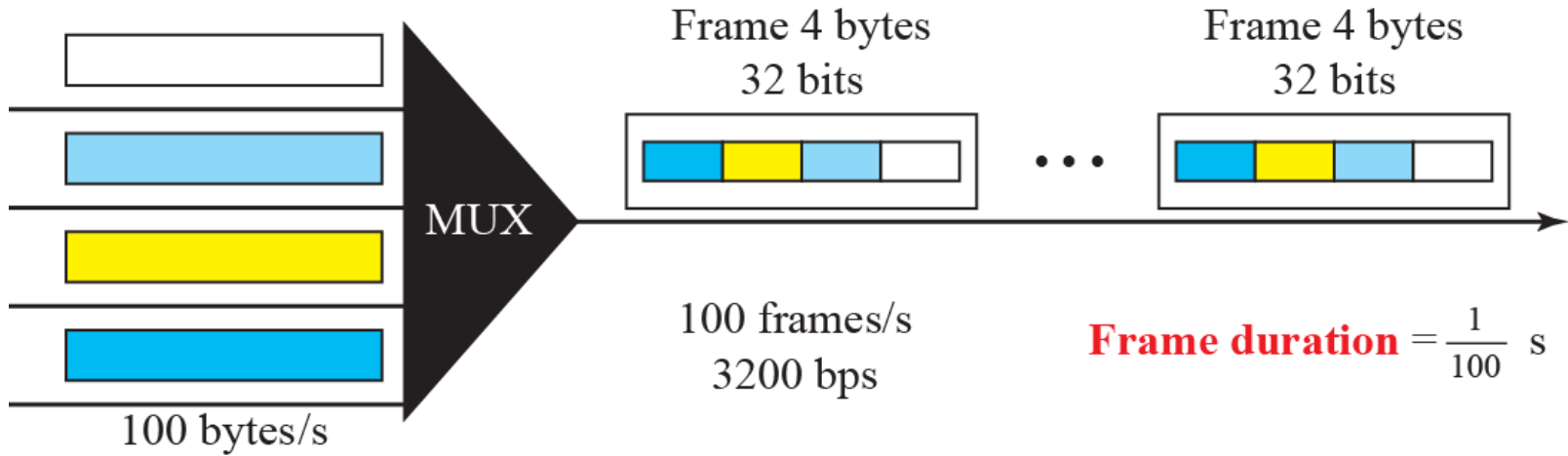
Example

TDM을 사용하여 4개의 채널을 다중화 한다. 각 채널이 100 byte/s의 속도로 전송하고 각 채널마다 1 바이트씩 다중화하는 경우에 대해 프레임 크기, 프레임 기간, 프레임 속도, 링크의 비트 전송률을 보여라.

Solution

- 프레임 크기 : 프레임은 각 채널로부터 1바이트씩 전송하므로 4바이트
- 프레임 속도 : 각 채널이 100 bytes/sec로 전송하며 프레임은 각 채널로부터 1 바이트씩 나르므로 매 초 100 프레임
- 프레임의 기간 : 1/100초
- 링크의 비트 전송률 : 매초 100개의 프레임을 나르며 각 프레임은 32비트이므로 100×32 또는 3,200 bps (=400bytes/sec)
이 속도는 실제 각 채널의 전송률인 $100 * 8 = 800\text{bps}$ 의 4배이다.

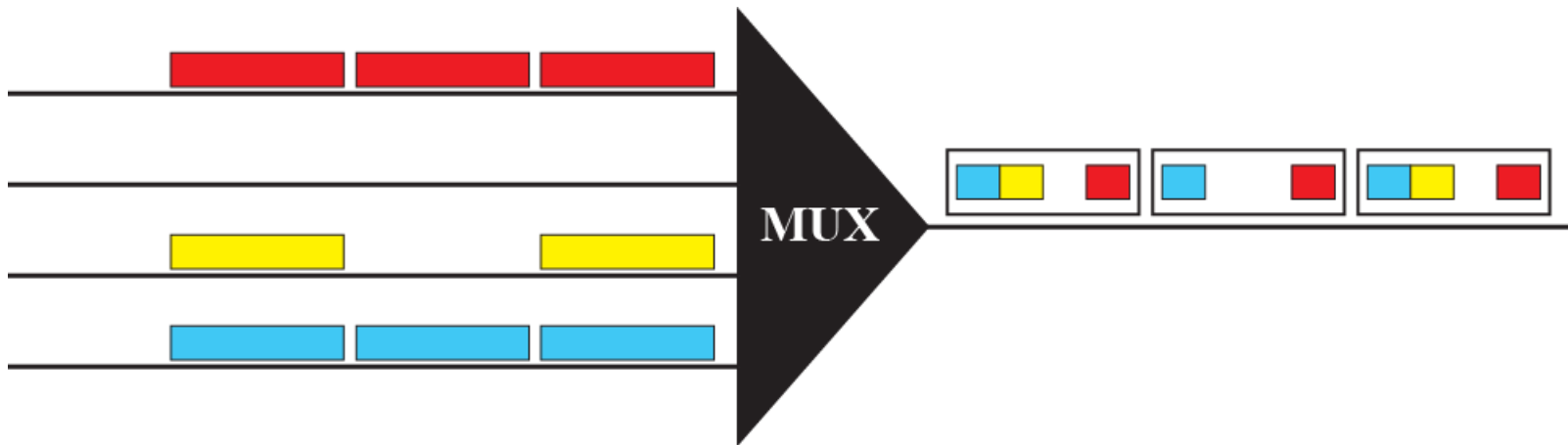
Example



시분할 다중화 (계속)

□ 빈 슬롯(Empty slots)

- 발신자가 전송할 데이터가 없다면 해당 슬롯이 비게 된다.



데이터 전송을 관리

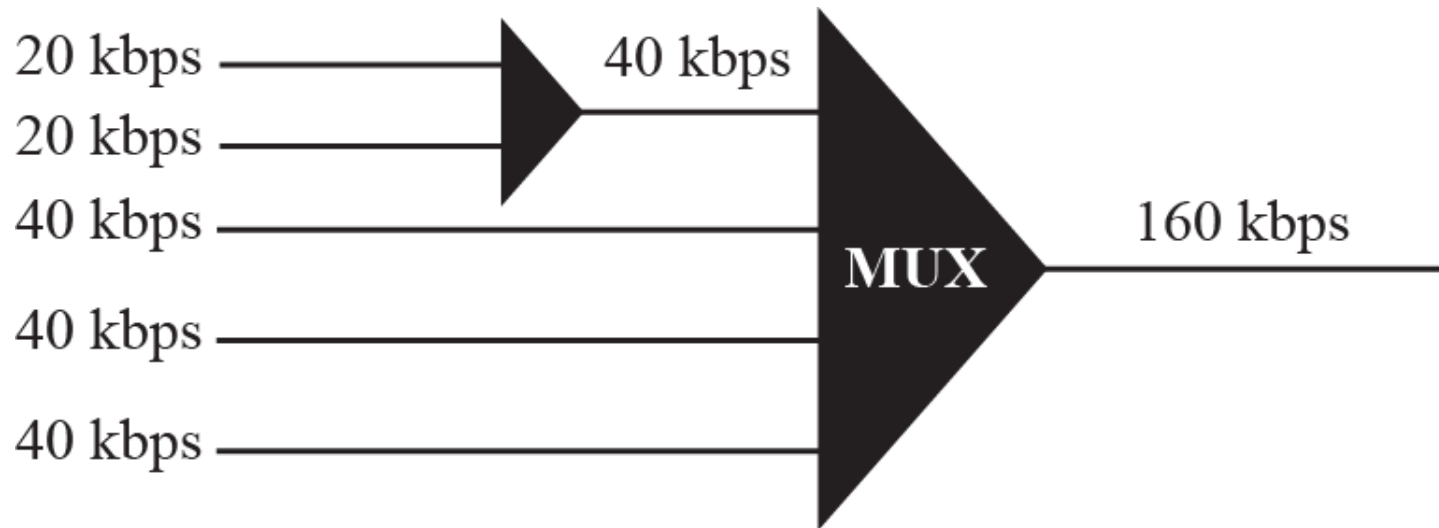
□ 입력 측 데이터를 이 서로 다른 경우 해결 방법

- ① 다단계 다중화(multilevel multiplexing)
- ② 복수 슬롯 할당(multiple-slot allocation)
- ③ 펄스 채워 넣기(pulse stuffing)

데이터 전송을 관리 (계속)

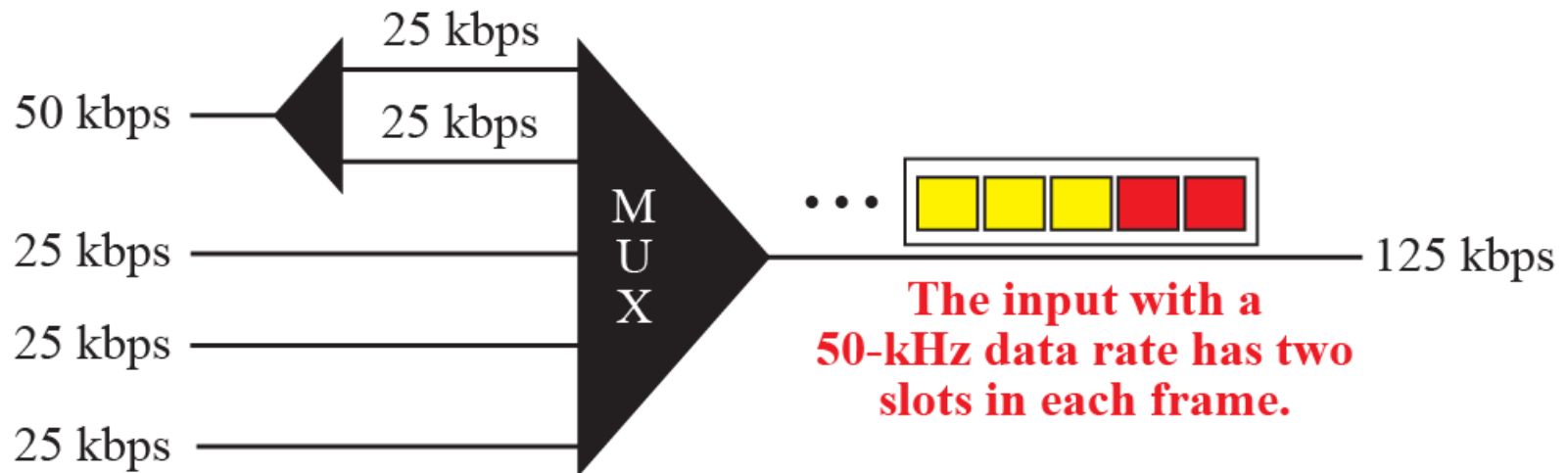
□ 다단계 다중화

- 어느 입력의 데이터율이 다른 것들에 비해 정수 배 만큼 빠를 때 사용하는 기술



데이터 전송을 관리 (계속)

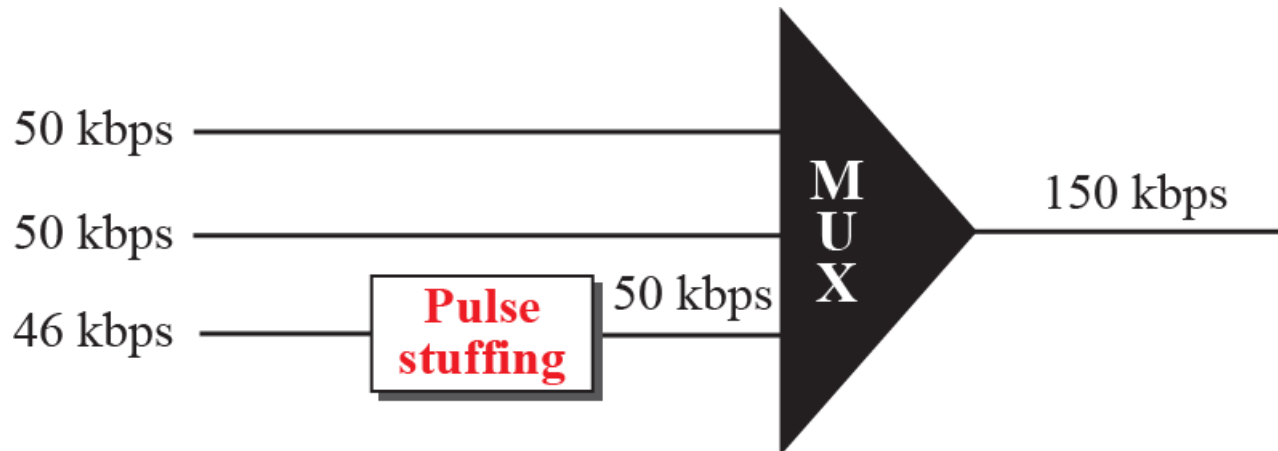
- 복수 슬롯 할당(multiple-slot allocation)
 - 입력회선에 한 개 보다 더 많은 슬롯을 할당하는 것



데이터 전송을 관리 (계속)

□ 펄스 채우기(pulse stuffing)

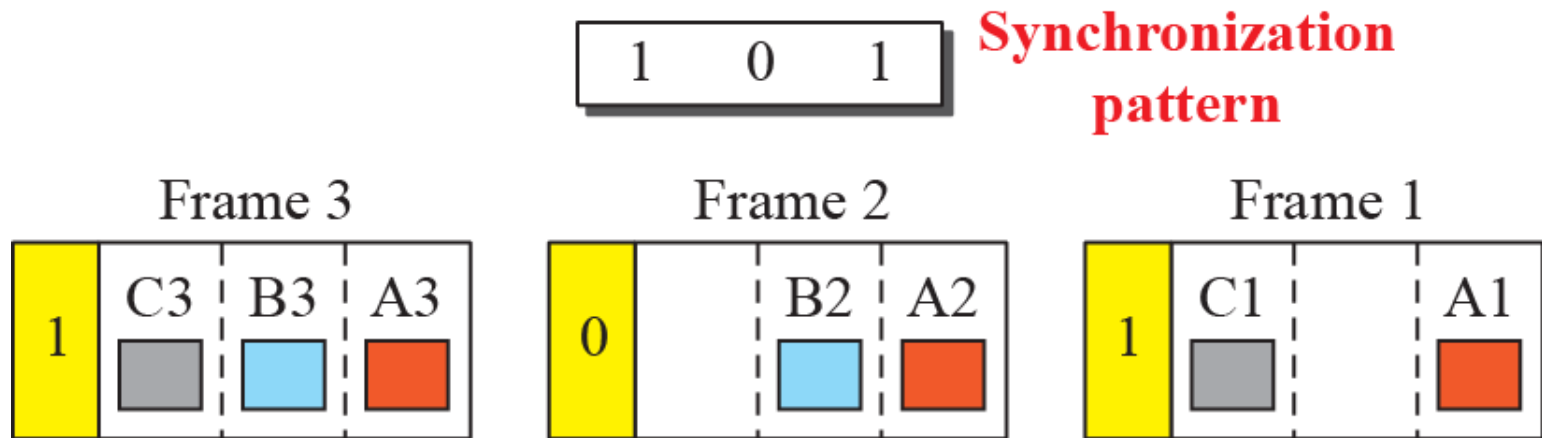
- 가장 높은 데이터 율에 맞추기 위해 공 비트를 끼워 넣는 것
- 비트 패딩, 비트 채우기 라고도 함



시분할 다중화 (계속)

□ 프레임 동기화(Frame synchronization)

⇒ 프레임 구성비트(framing bits)





Example

각각 매 초 250개의 문자를 생산하는 4 개의 채널이 있다. 끼워 넣는 단위가 문자이고 1 비트의 동기화 비트가 각 프레임에 더해진다면, (a) 각 채널의 데이터 전송률, (b) 각 채널의 각 문자의 기간, (c) 프레임 속도 (d) 각 프레임의 기간, (e) 각 프레임의 비트 수, (f) 링크의 전송률을 구하라.

Solution

- a. 각 채널의 데이터 전송률 : $250 \times 8 = 2000 \text{ bps} = 2 \text{ kbps}$.
- b. 각 채널은 매 초 250개의 문자를 보낸다. 그러므로 문자의 기간은 $1/250 \text{ s}$ 또는 4 ms 이다.



Example (continued)

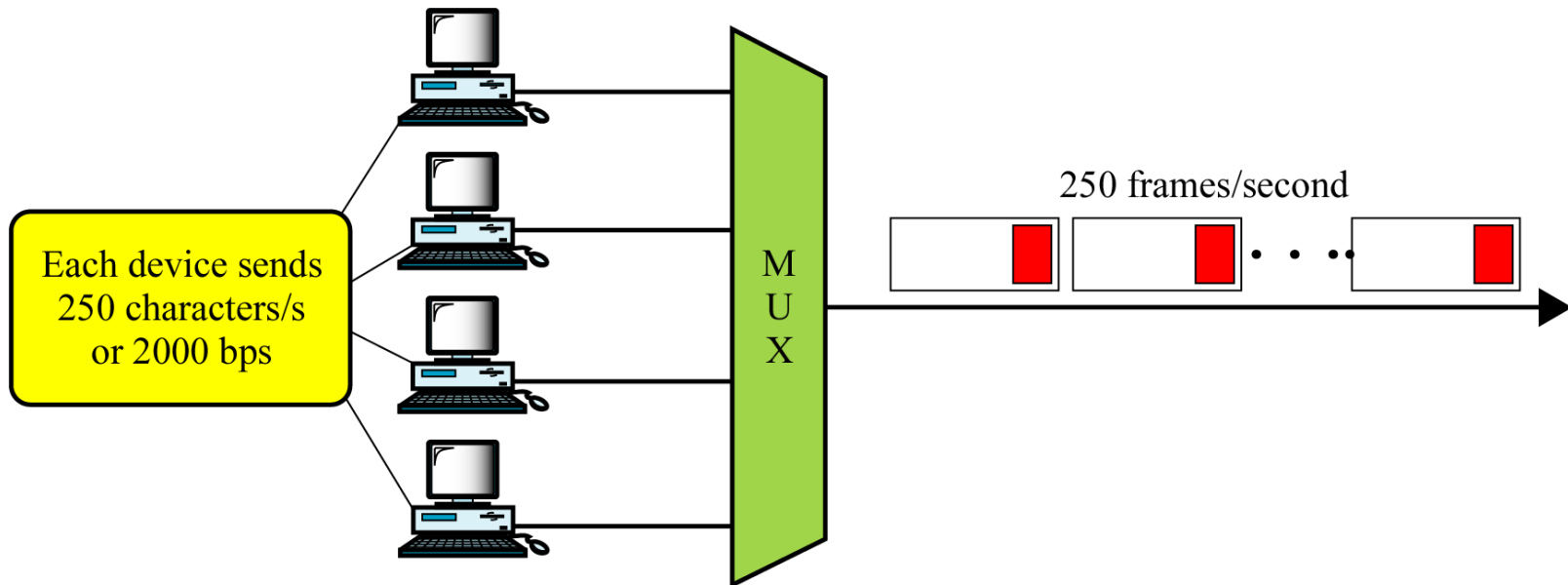
- c. 각 프레임은 각 채널로부터 하나의 문자를 받으므로 각 채널로부터의 전송 속도를 유지하기 위해서는 링크는 매초 250개의 프레임을 보내야 한다.
- d. 각 프레임의 기간 : $1/250$ 초 또는 4 ms이다.
- e. 프레임의 비트 수 : 33비트 (4개의 문자 + 1비트의 동기화 비트)
- f. 링크의 속도 : $2\text{kbps} * 4 + 250\text{bps}(\text{동기용}) = 8250\text{bps}$

Example (continued)

$$8250 \text{ bps} = 250 \text{ frames/second} \times 33 \text{ bits/frame}$$

or

$$8250 \text{ bps} = 4 \times 2000 \text{ bps} + 250 \text{ synchronization bps}$$





Example

100 kbps의 전송률을 갖는 채널과 200 kbps의 전송률을 갖는 채널을 다중화해야 한다. 어떻게 가능하겠는가? 프레임 속도는? 프레임 기간은? 링크의 전송률은?

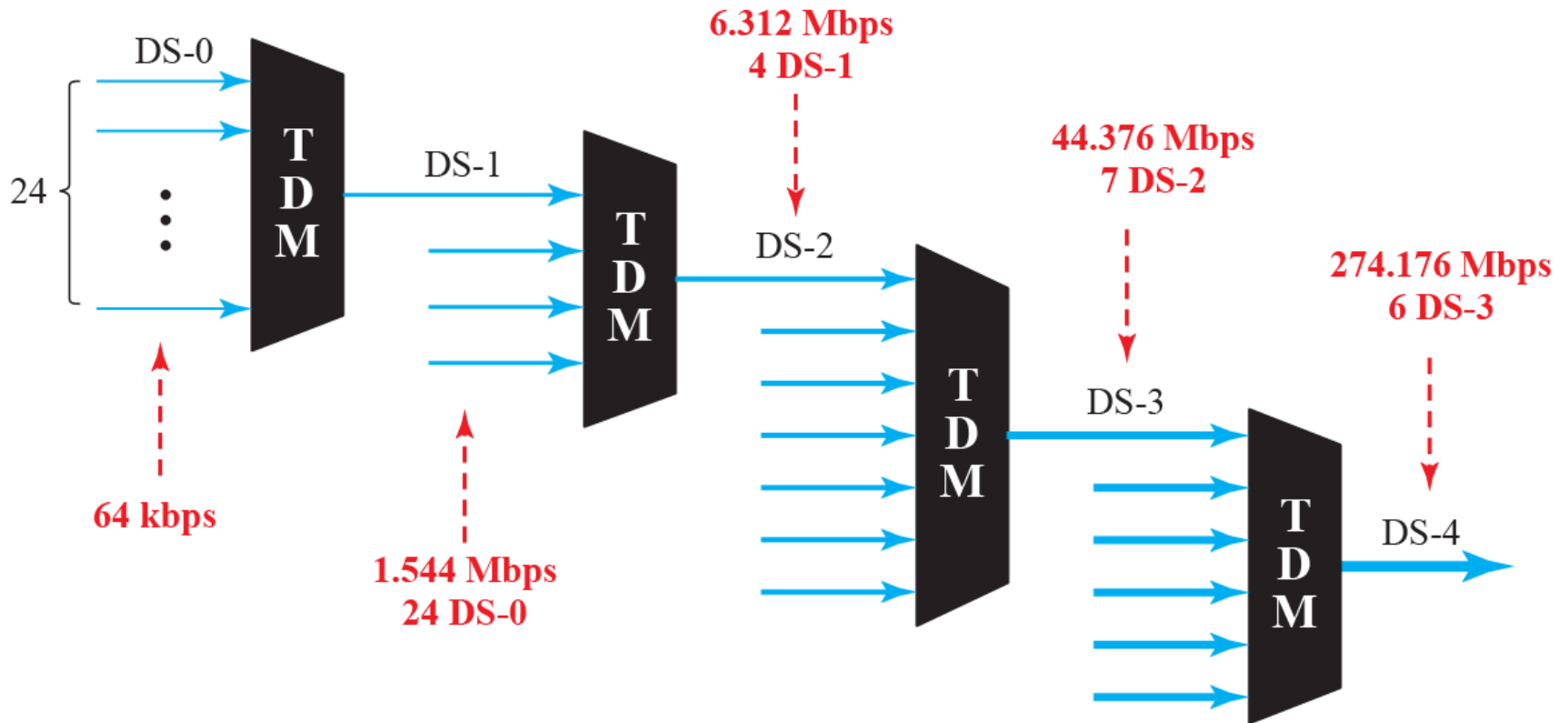
Solution

- 한 개의 타임 슬롯을 첫 번째 채널에 할당
- 두 개의 슬롯을 두 번째 채널에 할당
- 각 프레임은 3 비트로 구성
- 첫 번째 채널로부터 1 비트를 나르므로 프레임 속도는 매 초 100,000 frames/s × 3 비트/프레임 또는 300 kbps이다.

시분할 다중화 (계속)

□ DS (Digital Signal) 서비스

⇒ 디지털 신호의 계층 구조



시분할 다중화 (계속)

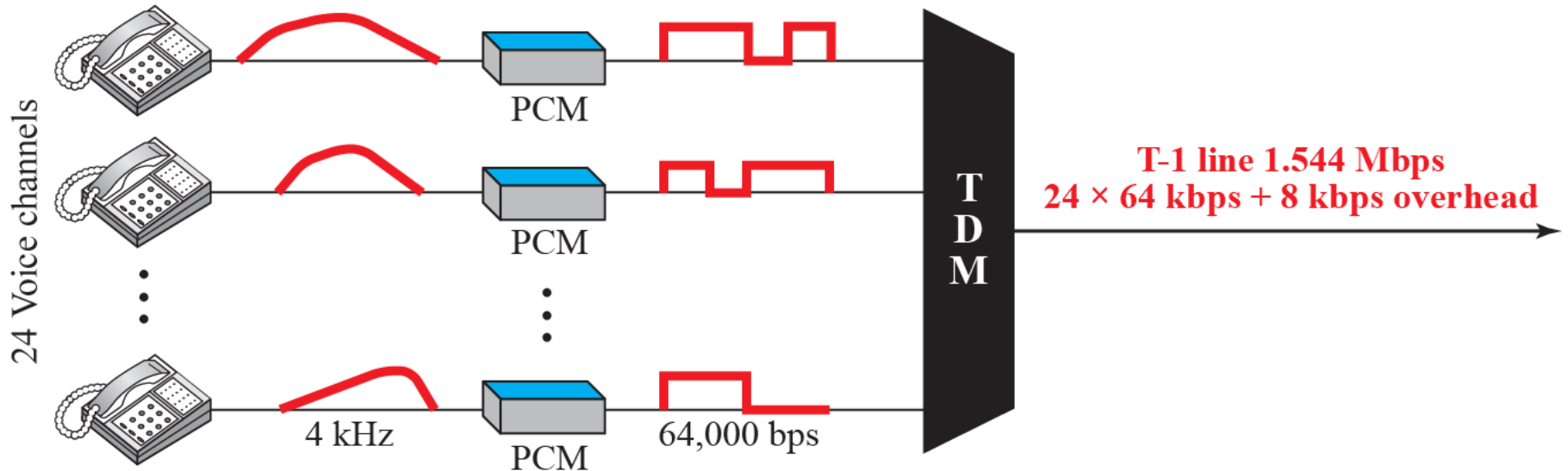
□ DS와 T회선 전송속도

<i>Service</i>	<i>Line</i>	<i>Rate (Mbps)</i>	<i>Voice Channels</i>
DS-1	T-1	1.544	24
DS-2	T-2	6.312	96
DS-3	T-3	44.736	672
DS-4	T-4	274.176	4032

시분할 다중화 (계속)

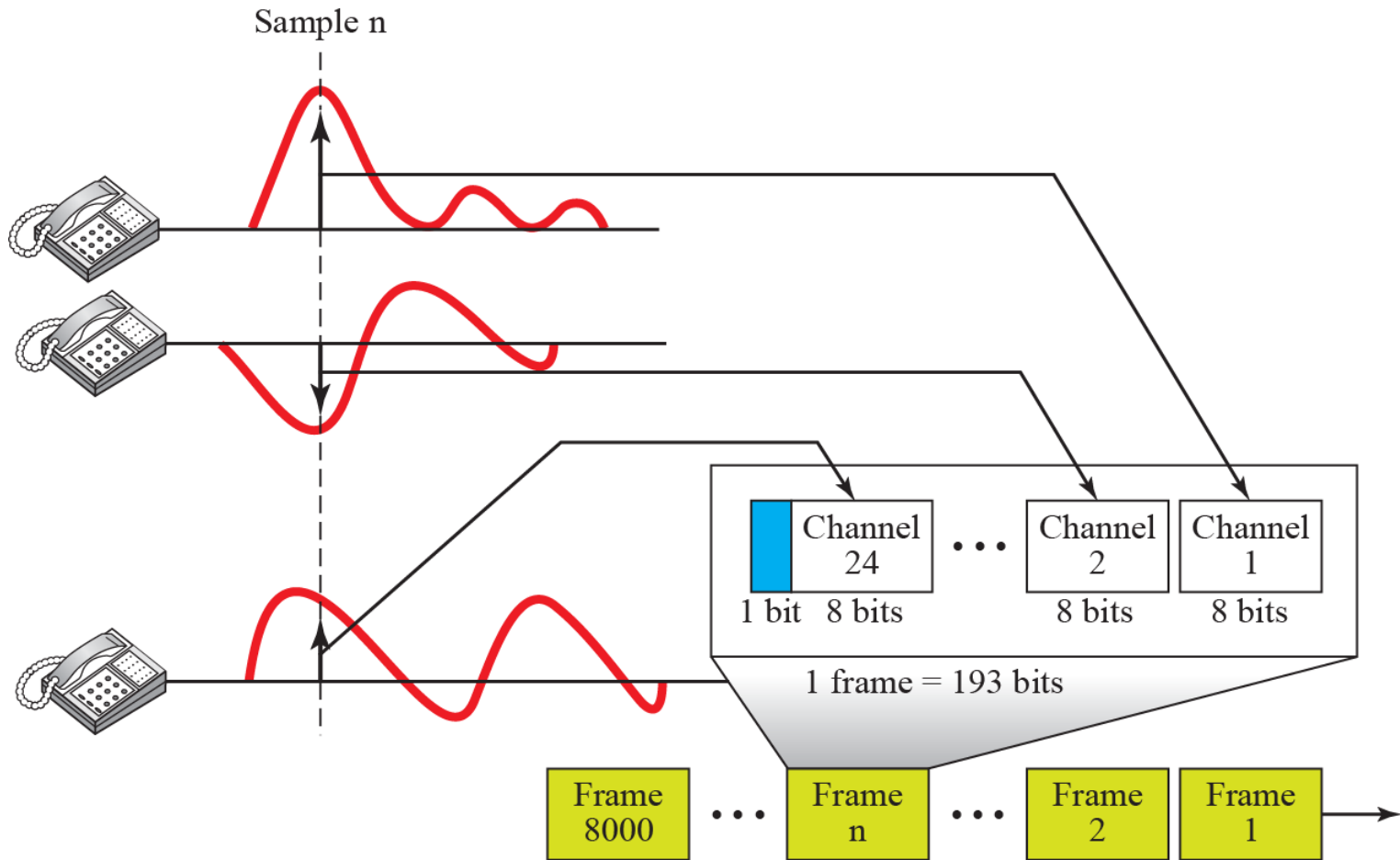
□ 아날로그 전송용 T회선

Sampling at 8000 samples/s
using 8 bits per sample



시분할 다중화 (계속)

□ T-1 프레임 구조



T-1: 8000 frames/s = 8000 × 193 bps = 1.544 Mbps

시분할 다중화 (계속)

□ E 회선

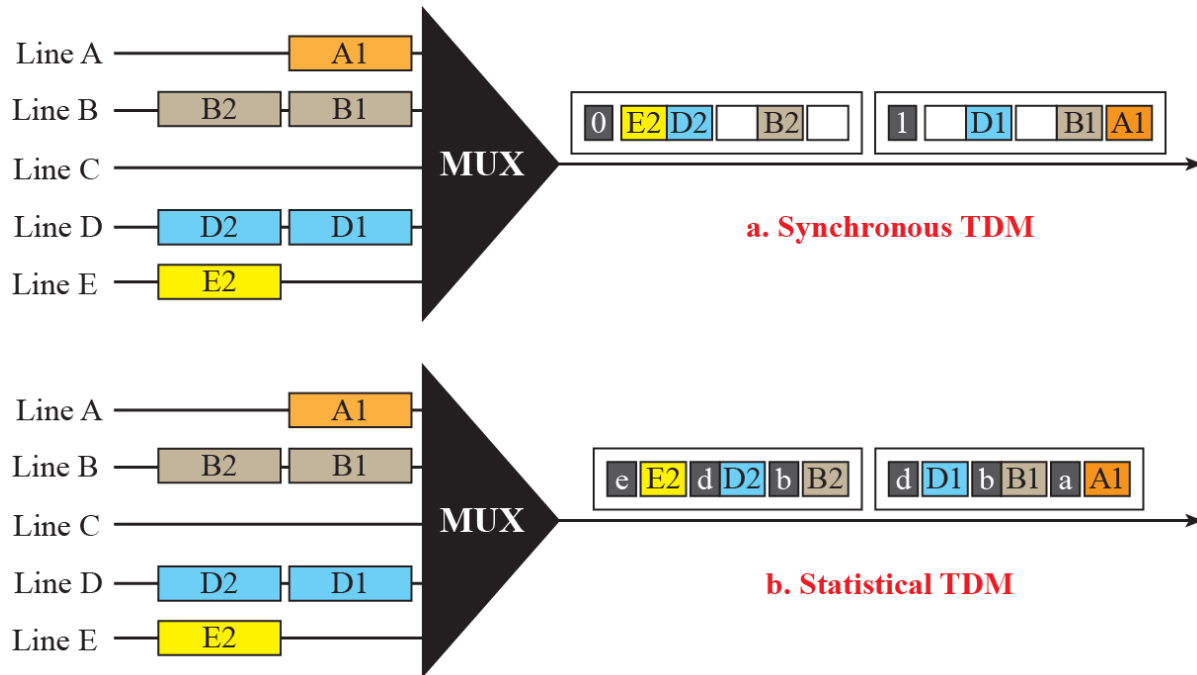
⇒ 유럽은 E 라인으로 불리는 T-라인 버전을 사용

<i>Line</i>	<i>Rate (Mbps)</i>	<i>Voice Channels</i>
E-1	2.048	30
E-2	8.448	120
E-3	34.368	480
E-4	139.264	1920

시분할 다중화 (계속)

□ 통계적 TDM

■ TDM 슬롯(동기와 통계적) 비교



6.2 확산 대역 방식

확산 대역 방식(SS: Spread Spectrum)은 서로 다른 소스로부터 오는 신호를 보다 큰 대역폭에 맞추기 위해 조합하지만, 목적은 엿듣기와 도청을 막기 위한 것이다.

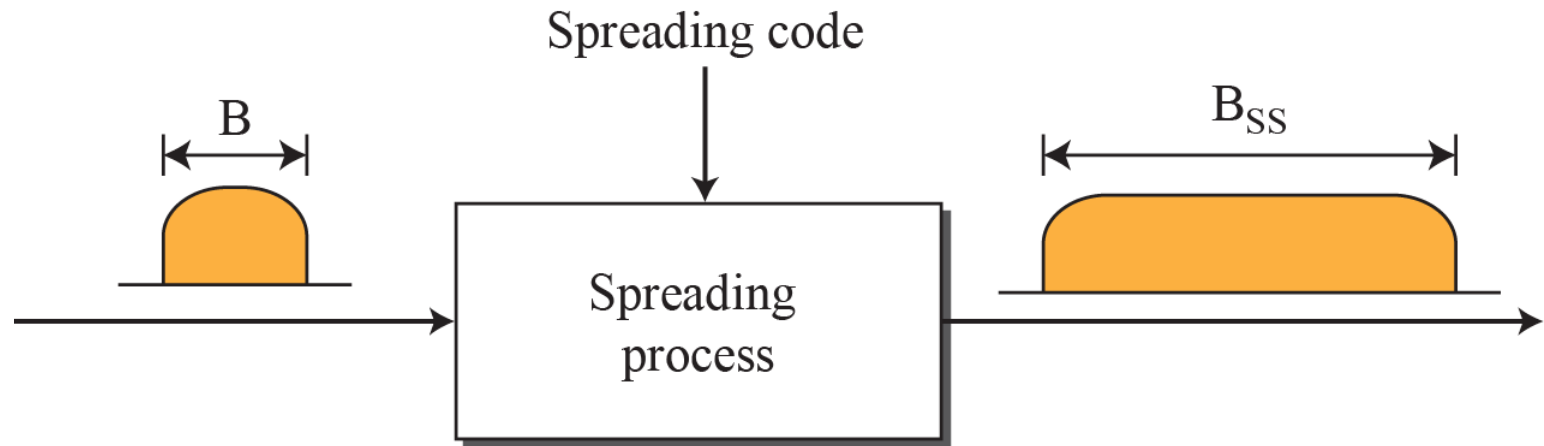
Topics discussed in this section:

Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

Direct Sequence Spread Spectrum Synchronous (DSSS)

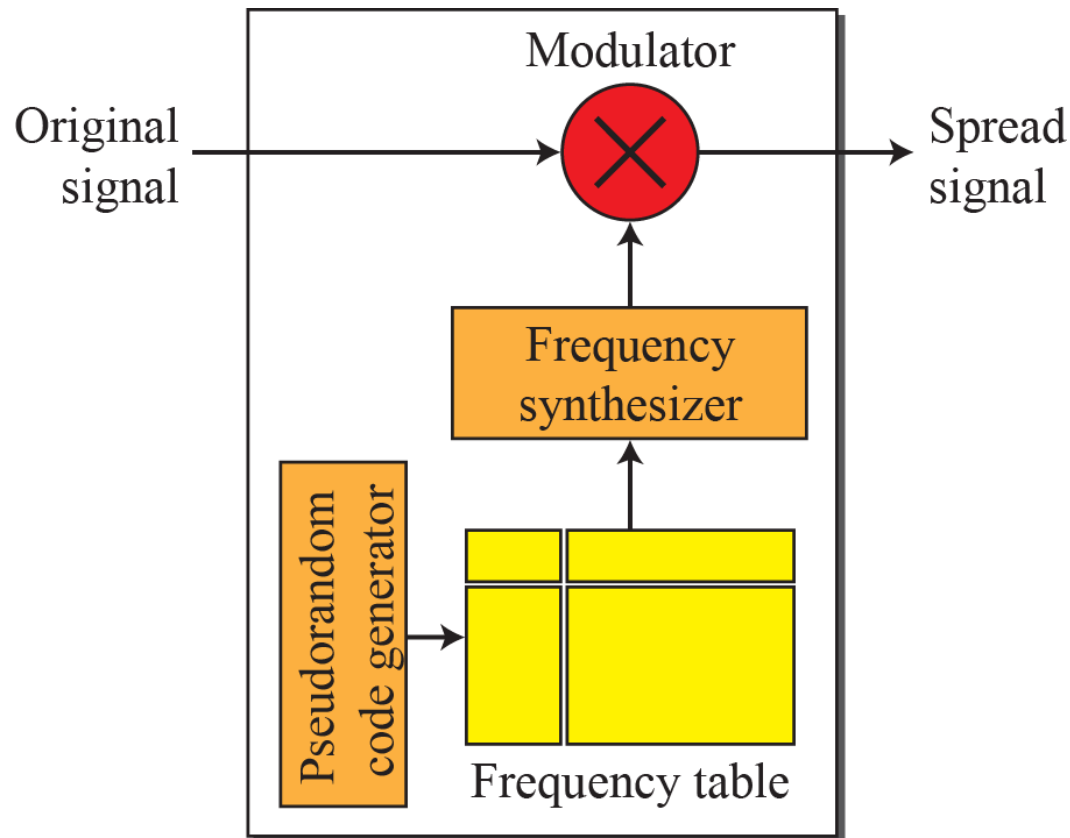
6.2 확산 대역 방식(계속)

- 무선 통신 응용을 위해 설계
- 여분의 정보 추가



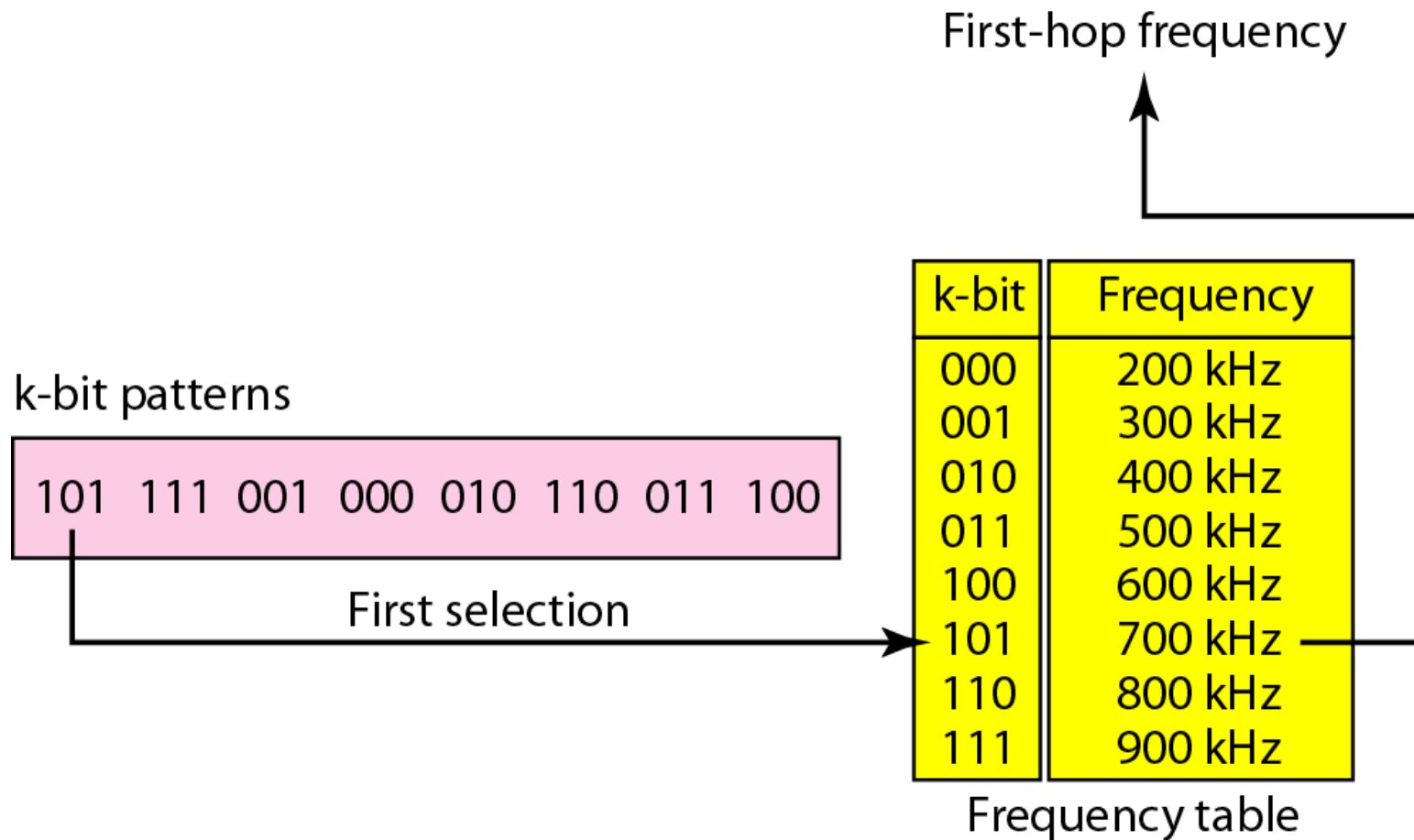
□ FHSS: *Frequency hopping spread spectrum*

- 발신지 M개의 신호를 서로 다른 반송파를 사용하여 변조한다.



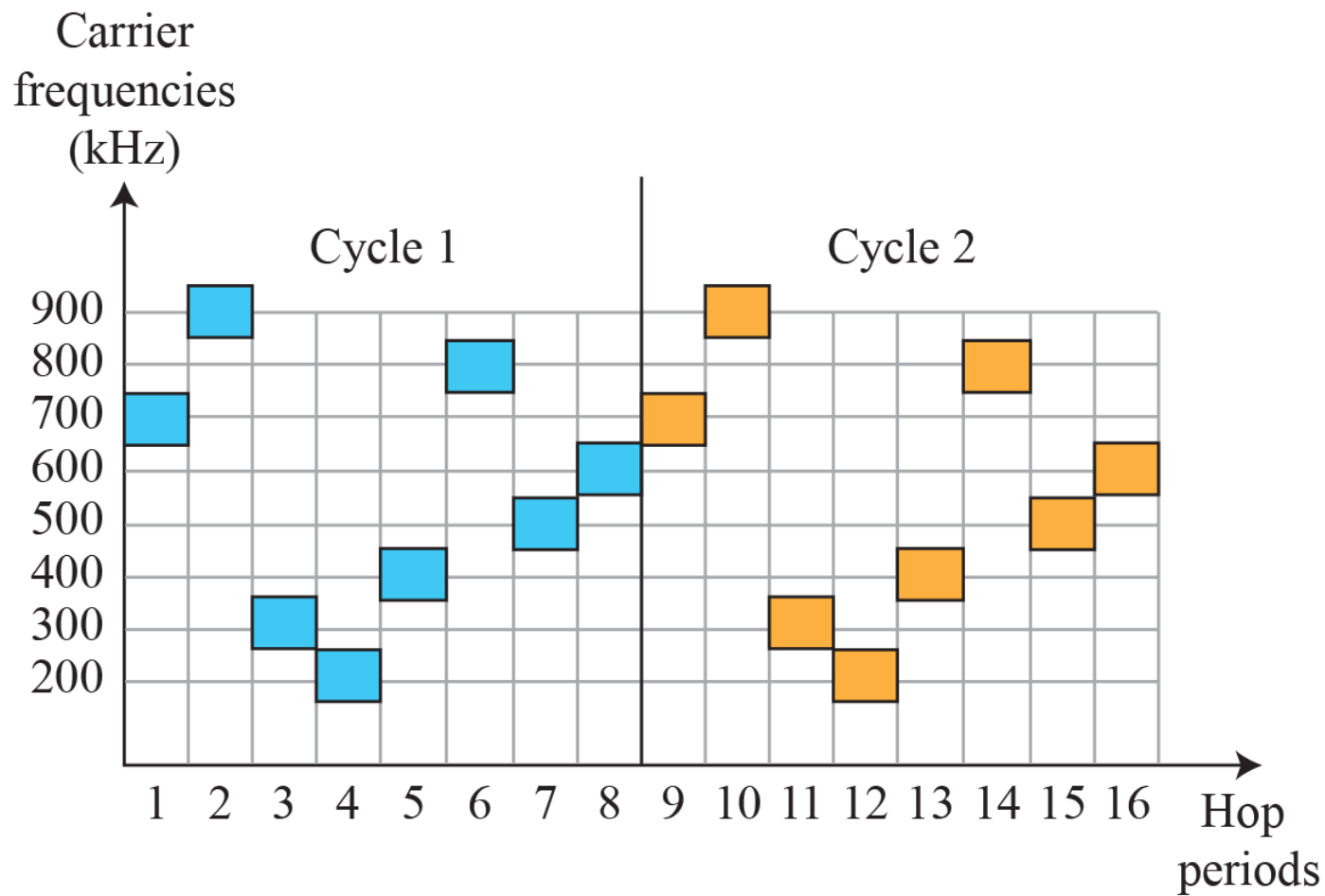
FHSS (계속)

□ FHSS에서 주파수 선택



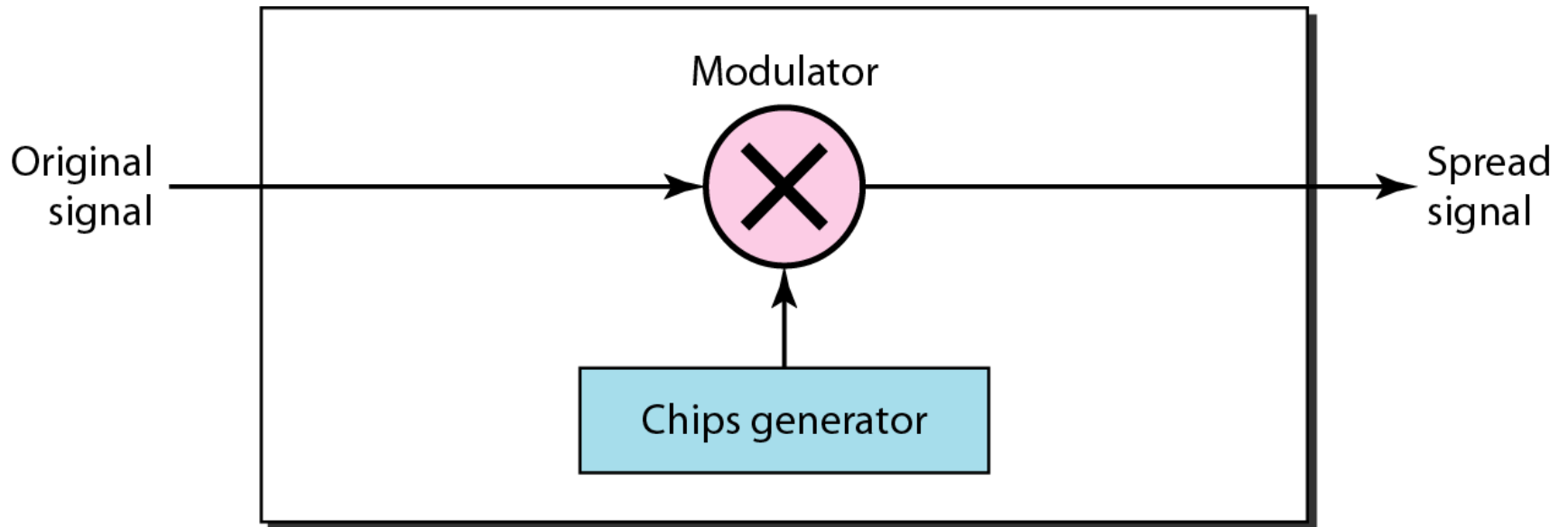
FHSS (계속)

□ FHSS 사이클



□ DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum

- 각 데이터 비트를 확산코드를 사용하여 n개의 bit(실제로는 chip이라함)로 대체



DSSS (계속)

□ DSSS 예

